

Evaluasi Neraca Air untuk Daerah Irigasi Payaman, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi DIY

Annisa Puji Lestari Thahir^{1*}, Endita Prima Ari Pratiwi¹, Rachmad Jayadi¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

²Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: annisapujilestarithahir@mail.ugm.ac.id

INTISARI

Ketersediaan air di daerah irigasi sangat berpengaruh terhadap produktivitas pertanian. Keseimbangan antara ketersediaan dengan kebutuhan air irigasi harus tetap terjaga sehingga dapat meminimalisir terjadinya kekurangan air. Kabupaten Gunung Kidul adalah salah satu daerah yang mengalami masalah dalam memenuhi kebutuhan air irigasi. Salah satu daerah irigasi yang mengalami permasalahan tersebut yaitu pada daerah irigasi (DI) Payaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi neraca air pada DI Payaman dengan menggunakan data hujan yang dimodelkan setengah bulanan dalam metode Mock lalu dikalibrasi dengan data debit observasi untuk memperoleh parameter model terbaik. Ketersediaan air irigasi merupakan debit andalan setengah bulanan probabilitas terpenuhi 80%. Perhitungan kebutuhan air irigasi mengacu pada standar perencanaan irigasi dengan pengaturan pola tanam sesuai dengan yang diterapkan di lapangan yaitu Padi-Padi-Palawija. Analisis ketersediaan dan kebutuhan air irigasi juga mempertimbangkan perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Penman-Moenteith. Hasil evaluasi neraca air menunjukkan terjadi defisit dalam ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan air DI Payaman pada periode bulan Mei II hingga November II. Oleh sebab itu, diperlukan solusi yang dapat meminimalisir terjadinya kekurangan air dengan cara pengaturan pola tanam atau dengan konservasi air.

Kata kunci: Ketersediaan air, kebutuhan air irigasi, Payaman

1 PENDAHULUAN

Perubahan iklim menjadi salah satu permasalahan global yang dapat mengakibatkan berbagai macam bencana yang dapat merugikan, seperti ancaman penurunan produktivitas pertanian (Zhao et al., 2014). Pemanasan global menyebabkan penurunan curah hujan khususnya di daerah Asia Tenggara sehingga menimbulkan masalah kekeringan (Dai, 2013). Berubahnya curah hujan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kondisi lahan serta interaksi antara air permukaan dan air tanah (Jolly, McEwan and Holland, 2010). Perubahan iklim sangat berpengaruh pada ketersediaan air terutama dalam memenuhi sektor pertanian. Dalam hal ini apabila terjadinya penurunan produktivitas pangan pasti akan berdampak pada aspek ekonomi, sosial, dan politik (Mudrieq, 2013). Salah satu daerah Indonesia yang mengalami dampak kekeringan adalah Kabupaten Gunung Kidul yang berada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Kekeringan yang terjadi setiap tahun menyebabkan irigasi yang berada di daerah tersebut mengalami gagal panen.

Neraca air merupakan hubungan antara aliran masuk (*inflow*) sebagai ketersediaan air dengan aliran keluar sebagai kebutuhan air irigasi (*outflow*) di suatu daerah irigasi dalam periode tertentu (Sosrodarsono and Takeda, 2003). Ketersediaan air yang lebih kecil dibandingkan kebutuhan air berarti terjadi defisit, sebaliknya ketersediaan air yang lebih besar dari kebutuhan air berarti terjadi surplus. Analisis neraca air dalam irigasi telah banyak dilakukan sebelumnya, banyak dari penelitian tersebut menemukan ketersediaan tidak mampu memenuhinya airnya (Wintyaswan, Sumiadi and Soetopo 2023, Nayoan, Sumarauw and Hendratta 2023, dan Anisarida and Hafudiansyah, 2022). Mengubah pola pemberian air dari serentak menjadi bergilir dapat mengatasi defisit dalam memenuhi kebutuhan air irigasi, contohnya di DI Tinjak Menjangan di Kabupaten Tabanan, Provinsi Bali (Sriartha, Suryatmaja and Kurniari, 2021).

Ketersediaan air dapat ditentukan berdasarkan debit andalan, untuk irigasi digunakan debit andalan dengan probabilitas 80%. Menurut Standar Perencanaan Irigasi Bagian 01 (KP-01) (2013), dalam menentukan debit andalan yang ideal dibutuhkan data debit observasi minimal 20 tahun. Kenyataannya bahwa data debit observasi tidak selamanya tersedia dengan periode waktu yang panjang. Oleh sebab itu, dibutuhkan pendekatan hidrologi untuk mensimulasikan hujan dengan menggunakan rumus empiris. Adapun beberapa metode yang dapat digunakan dalam pemodelan simulasi hujan aliran seperti menggunakan metode Mock (Mock, 1973), Metode NRECA (Crawford, 1985), atau Thornthwaite-Mather (Thornthwaite, 1957 dan Mather, 1978). Metode Mock telah digunakan pada beberapa penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh (Dwiwana, Nurhayati and Umar, 2019) dan (Bunganaen,

Karbeka and Hangge, 2020) untuk mensimulasi hujan dalam ketersediaan air irigasi. Wahyuni (2014) menganalisis perbandingan metode Mock dan NRECA. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa simulasi hujan yang sesuai pada daerah aliran sungai (DAS) Pacal di Kabupaten Bojonegoro adalah metode Mock dengan hubungan korelasi yang cukup kuat dengan perhitungan debit observasi dibandingkan metode NRECA. Pramono, (2010) melakukan estimasi potensi air bulanan di sub DAS Wuryantoro, Kabupaten Wonogiri. Hasil penelitian diperoleh bahwa dengan menggunakan metode Thornthwaite-Mather diperoleh nilai korelasi yang menggambarkan hubungan yang kuat antara debit simulasi dengan debit observasi.

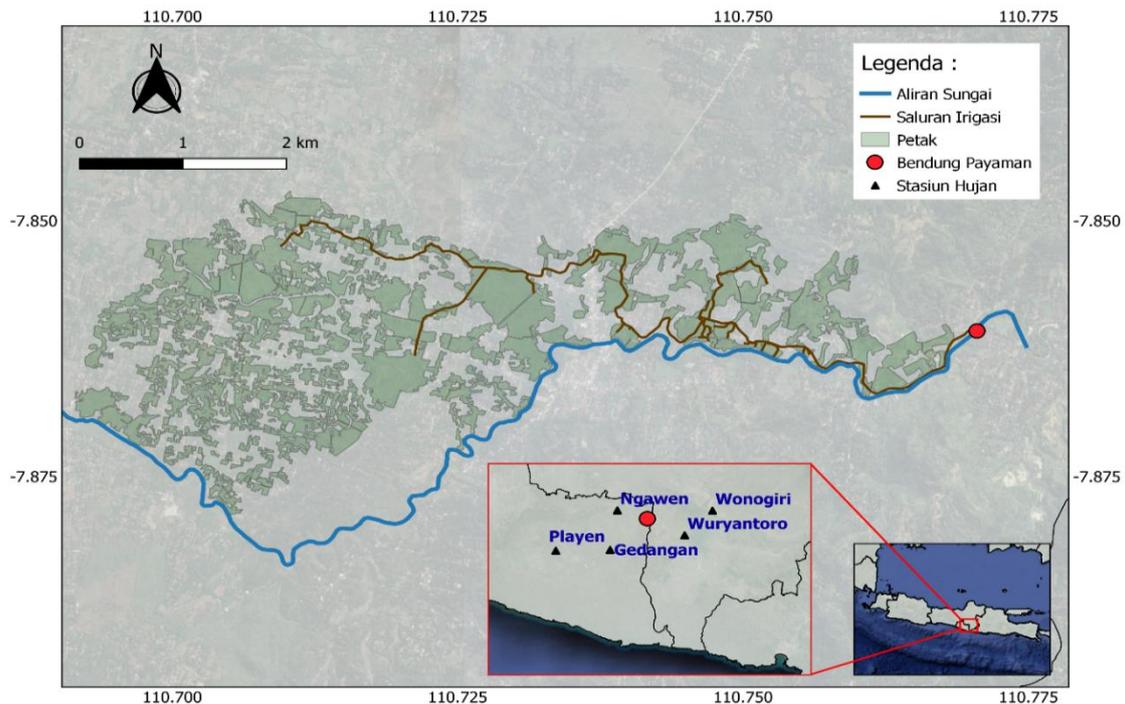
Besaran volume air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, kehilangan air, dan kebutuhan air untuk tanaman dengan memperhatikan jumlah air yang jatuh melalui hujan dan kontribusi air tanah merupakan pengertian dari kebutuhan air irigasi (Sidharta S.K., 1997). Perhitungan kebutuhan air irigasi di Indonesia umumnya menggunakan standar yang mengacu pada (KP-01, 2013).

Penelitian terdahulu oleh (Arum, 2013) melakukan analisis ketersediaan air di DI Payaman menggunakan simulasi hujan yang menyatakan bahwa terjadi defisit dalam memenuhi kebutuhan air irigasi saat musim kemarau bulan Mei hingga Oktober. Seiring dengan perkembangan zaman kondisi neraca air di DI Payaman bisa saja berubah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi neraca air di DI Payaman dengan menggunakan data yang terbaru. Hasil evaluasi keseimbangan air dapat memberikan informasi yang penting dan berguna bagi berbagai pemangku kepentingan dalam pengelolaan sumber daya air berkelanjutan.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Data Penelitian

Penelitian ini berlokasi di wilayah Kecamatan Semin yang berada di Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Daerah irigasi ini memiliki luas fungsional sebesar 672,11 ha. Penyuplai airnya berasal dari Bendung Payaman yang alirannya bersumber dari Sungai Oyo. Bendung Payaman berada pada koordinat $-7,8606020^{\circ}$ lintang dan $110,770389^{\circ}$ bujur. Lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian Daerah Irigasi Payaman (sumber peta: Google Satelit dan DPUPESDM DIY)

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari sejumlah instansi sebagai berikut.

- Data curah hujan tahun (2000-2022) dengan tiga pos hujan yaitu Stasiun Gedangan, Stasiun Ngawen, dan Stasiun Wuryantoro.
- Data curah hujan daerah tangkapan air (DTA) tahun (2000-2022) dengan tiga pos hujan yaitu Stasiun Wonogiri, Stasiun Ngawen, dan Stasiun Wuryantoro.
- Debit observasi pada *Intake* Payaman tahun (2012-2022).
- Data klimatologi tahun (2018-2022) pada Stasiun Playen.

2.2 Ketersediaan Air

Ketersediaan air ditentukan dengan debit andalan dalam periode setengah bulanan. Debit andalan dihitung menggunakan hasil simulasi model hujan aliran tahun 2000-2011 dan data debit observasi tahun 2012-2022. Simulasi hujan aliran dilakukan dengan pemodelan Mock (Mock, 1973) menggunakan data hujan setengah bulanan tahun 2000-2022. Kemudian dilakukan kalibrasi menggunakan data debit observasi untuk mendapatkan optimasi parameter seperti koefisien infiltrasi basah (*WIC*), koefisien infiltrasi kering (*DIC*), kapasitas kelembaban tanah (*SMC*), faktor resesi (*Rc*), dan *groundwater storage* awal (*Gsn-I*). Parameter tersebut digunakan untuk memaksimalkan koefisien korelasi dan meminimumkan volume *error* dengan bantuan *solver* pada *Microsoft Excel*. Nilai koefisien korelasi (*r*), dan volume *error* atau dapat dikatakan selisih volumenya (*VE*) dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) dan (2).

$$r = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{cal} - Q_{cal\ rerata})^2 - \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{obs\ rerata})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{cal} - Q_{cal\ rerata})^2 + \sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{obs\ rerata})^2}} \quad (1)$$

$$VE = \left| \frac{\sum_{i=1}^n Q_{obs} - \sum_{i=1}^n Q_{cal}}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

dimana Q_{cal} adalah debit simulasi, Q_{obs} adalah debit observasi, dan n adalah jumlah data.

Selanjutnya dari hasil simulasi tersebut dapat ditentukan besaran ketersediaan air menggunakan debit andalan sebagai titik kontrol yang dikaitkan dengan waktu dan nilai keandalan. Menurut (Sri Harto, 1993), debit minimum sungai untuk keperluan irigasi dengan probabilitas terpenuhi sebesar 80% mengikuti rumus *Weibull* yang dapat dilihat pada Persamaan (3).

$$P\% = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \quad (3)$$

dimana $P\%$ adalah probabilitas terpenuhi, m adalah nomor urut data, dan n adalah banyaknya data.

2.3 Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi faktor tanaman dalam penyiapan lahan (luas tanam, jenis tanaman, dan fase tumbuh), faktor jenis tanah (perkolasi), dan yang terpenting yaitu faktor iklim (curah hujan dan evapotranspirasi) (KP-01, 2013).

Curah hujan efektif untuk tanaman padi terjadi 80% dan untuk tanaman palawija terjadi 50%. Data yang digunakan dalam perhitungan curah hujan efektif yaitu data hujan tahun 2000-2022 pada Stasiun Gedangan, Stasiun Ngawen, dan Stasiun Wuryantoro. Selain itu, evapotranspirasi mempengaruhi beberapa faktor yaitu parameter cuaca (radiasi, suhu udara, kelembaban, dan kecepatan angin), karakteristik tanaman, pengelolaan dan aspek lingkungan (Allen et al., 1998). Evapotranspirasi adalah kebutuhan konsumtif tanaman yang sangat dipengaruhi oleh iklim (Doorenbos & Pruitt, 1977). Perhitungan ini menggunakan data klimatologi Stasiun Playen tahun 2018-2022 dimana evapotranspirasi (*ET_o*) dalam penelitian ini menggunakan metode Penman-Monteith versi FAO 56 yang dapat dilihat pada Persamaan (4).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \quad (4)$$

dimana *ET_o* adalah evapotranspirasi acuan, *R_n* adalah radiasi matahari netto diatas permukaan tanaman, *T* adalah suhu rerata, *U₂* adalah kecepatan angin pada ketinggian 2 m, *e_s* adalah tekanan jenuh uap air, *e_a* adalah tekanan aktual uap air, Δ adalah kemiringan kurva tekanan uap air, dan γ adalah konstanta psikrometrik.

Pola tanam yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air irigasi yaitu Padi-Padi-Palawija sesuai pola tanam yang diterapkan di DI Payaman. Penggunaan konsumtif tanaman diperoleh dari hasil perkalian nilai *ET_o* dengan koefisien tanaman sesuai yang ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral (DPUPESDM) DIY. Jadwal tanam untuk masa tanam pertama (MT 1) dimulai pada periode November I, awal tanam pada MT 2 dimulai pada periode Maret I, dan awal tanam pada MT 3 dimulai pada periode Juli I. Besarnya kebutuhan air irigasi dapat dihitung menggunakan Persamaan (5), (6), dan (7).

$$NFR_{padi} = ETc + Pe - Re + WLR \tag{5}$$

$$NFR_{palawija} = ETc - Re \tag{6}$$

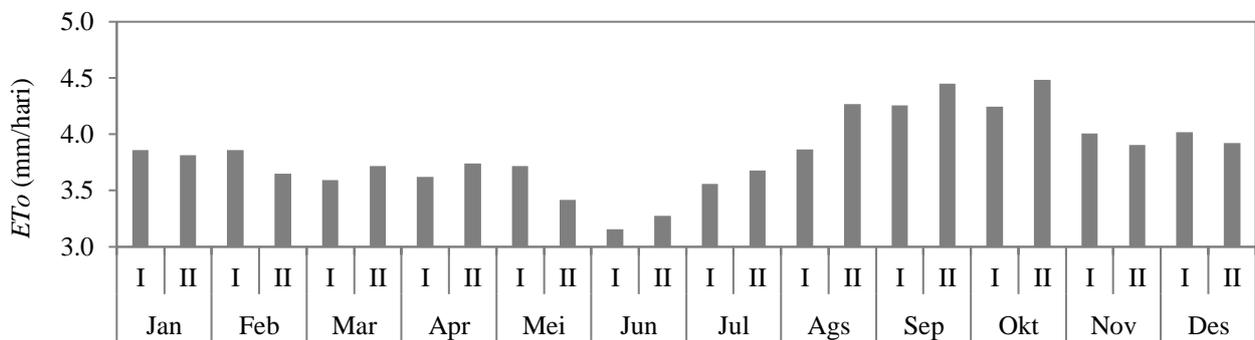
$$IR = NFR/e \tag{7}$$

dimana *NFR* adalah *Net Field Water Requirement*, *ETc* adalah penggunaan konsumtif tanaman, *Pe* adalah perkolasi, *Re* adalah curah hujan efektif, *WLR* adalah pergantian lapisan air, *IR* adalah kebutuhan air irigasi, dan *e* adalah efisiensi irigasi secara keseluruhan.

3 PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Evapotranspirasi Acuan

Gambar 2 menunjukkan hasil perhitungan evapotranspirasi rerata dari tahun 2018-2022. Nilai evapotranspirasi terendah pada periode bulan Juni I yaitu sebanyak 3,15 mm/hari, sedangkan nilai evapotranspirasi tertinggi pada periode bulan Oktober II yaitu sebesar 4,48 mm/hari.

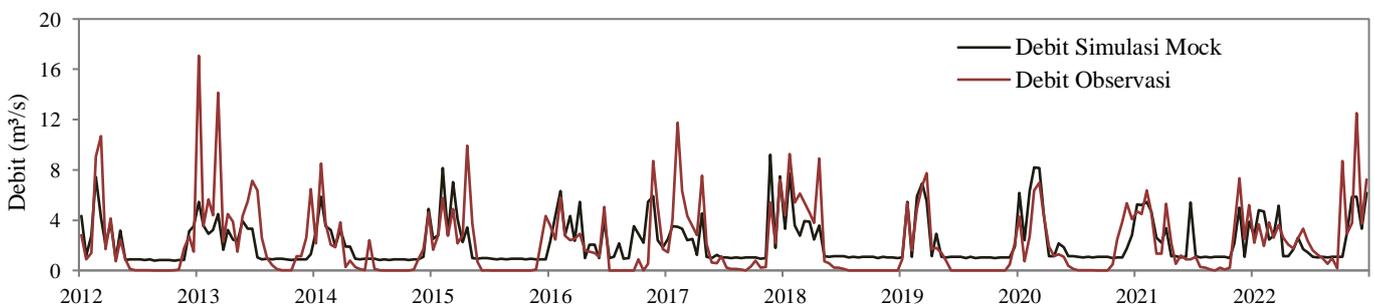


Gambar 2 Hasil perhitungan evapotranspirasi acuan di Stasiun Playen

Peningkatan laju evapotranspirasi cenderung terjadi pada tempat yang panas yaitu pada saat musim kemarau. Umumnya Kota Yogyakarta memasuki musim kemarau pada bulan Mei hingga Oktober dan musim penghujan dimulai pada bulan November hingga April. Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa pada musim kemarau dengan periode bulan Agustus I hingga Oktober II terjadi peningkatan evapotranspirasi, tetapi pada bulan Mei I hingga Agustus I mengalami penurunan evapotranspirasi. Hal tersebut terjadi karena radiasi matahari yang rendah pada periode bulan tersebut sehingga tingkat penguapan rendah dan berkurangnya energi untuk mengubah air menjadi uap.

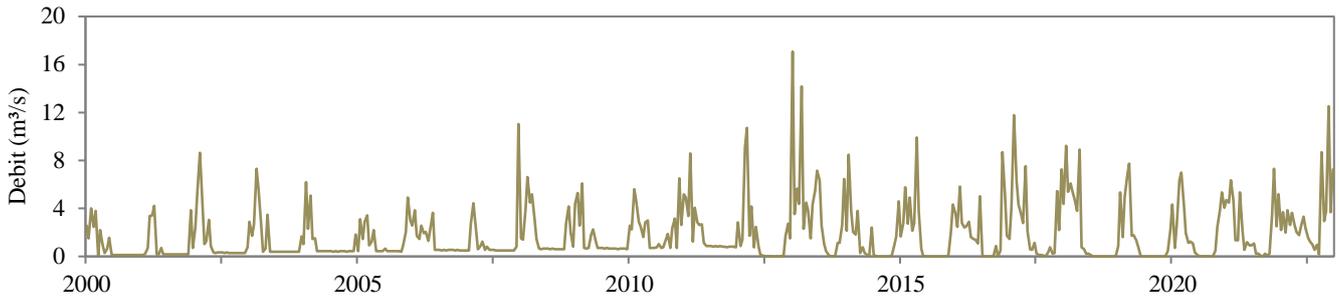
3.2 Kalibrasi Model Mock

Gambar 3 menunjukkan hasil kalibrasi periode tahun 2012-2022 antara debit simulasi dengan debit observasi memiliki korelasi yang cukup kuat dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,71. Nilai volume *error* yang didapatkan sangat baik yaitu mendekati 0%.



Gambar 3 Hasil kalibrasi debit simulasi Mock dan debit observasi

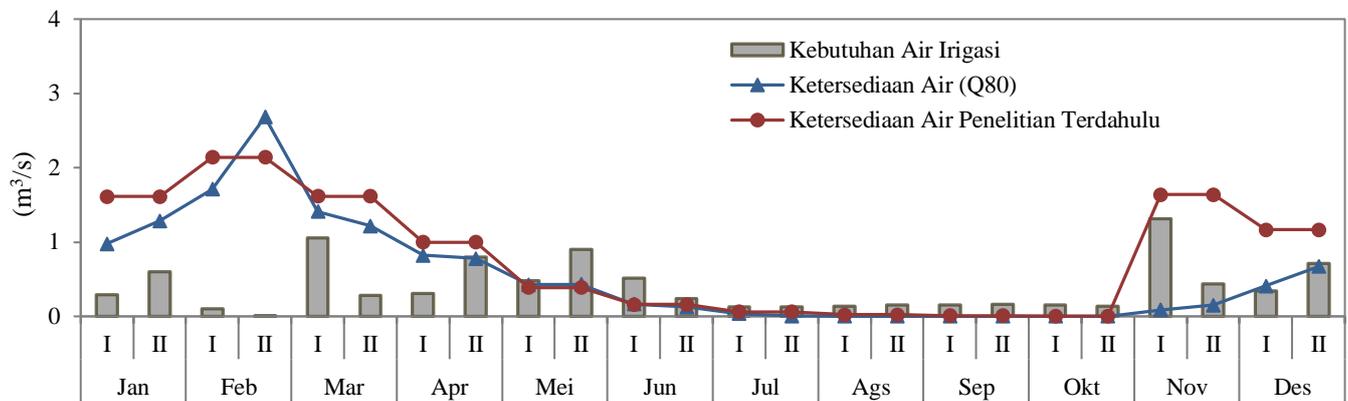
Optimasi parameter kalibrasi yang didapatkan adalah 0,49 untuk *WIC*, 0,61 untuk *DIC*, 0,994 untuk *Rc*, 50 untuk *Gsn-1*, dan 200 mm untuk *SMC*. Berdasarkan parameter kalibrasi tersebut diperoleh debit simulasi setengah bulanan tahun 2000-2022. Selanjutnya hasil simulasi debit aliran dari tahun 2000-2011 yang diteruskan debit observasi tahun 2012-2022 (Gambar 4) digunakan untuk mencari debit andalan setengah bulanan probabilitas terpenuhi 80%.



Gambar 4 Debit setengah bulanan Sungai Oyo di Bendung Payaman tahun 2000-2022

3.3 Neraca Air

Gambar 5 menunjukkan hasil perhitungan neraca air antara ketersediaan dan kebutuhan air untuk irigasi. Ketersediaan air tahunan pada penelitian ini sebesar 13,40 m³/s sehingga mengalami surplus untuk memenuhi kebutuhan air irigasi tahunan sebesar 9,55 m³/s. Namun, distribusi tengah bulannya tidak memungkinkan terpenuhi kebutuhan air pada periode bulan tertentu. Terjadi defisit pada periode bulan Mei II - November II dengan total defisit sebesar 3,55 m³/s dalam setahun. Pada saat musim kemarau, debit ketersediaan air pada periode tersebut mendekati nilai 0 m³/s.



Gambar 5 Perhitungan neraca air

Berdasarkan Gambar 5, ketersediaan air pada penelitian ini menurun dengan terjadinya defisit lebih banyak yaitu selama 13 periode dibandingkan ketersediaan air pada penelitian sebelumnya (Arum, 2013) yang mengalami defisit sebanyak 11 periode. Penurunan ketersediaan air pada penelitian ini mungkin disebabkan oleh penurunan curah hujan atau pergeseran musim hujan. Kemungkinan lainnya penyebab perubahan ketersediaan air adalah penggunaan metode yang berbeda dalam mensimulasikan data hujan menjadi debit aliran. Arum (2013) menggunakan metode Thornthwaite-Mather dalam menghitung ketersediaan air. Ketersediaan air di Sungai Oyo disimulasikan menggunakan data hujan tahun 1985-2007 dengan nilai koefisien infiltrasi yang diperoleh langsung di lapangan yaitu sebesar 0,40. Sementara itu, penelitian ini menggunakan pemodelan Mock untuk mensimulasikan debit di Sungai Oyo dengan data hujan tahun 2000-2022. Debit simulasi dikalibrasi terhadap debit terukur tahun 2012-2022 dengan optimasi beberapa parameter, termasuk nilai koefisien infiltrasi yaitu 0,49 untuk musim basah dan 0,61 untuk musim kering.

Penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi defisit air dengan periode bulan berturut turut bahkan nilai debitnya mendekati 0 menyebabkan besar kemungkinan terjadinya gagal panen pada musim tanam III. Oleh sebab itu, diperlukan solusi efektif dalam menangani masalah kekurangan air yang berkepanjangan seperti pengaturan pola tanam atau dengan konservasi air. Solusi konservasi air dilakukan apabila neraca air mengalami defisit dalam periode bulan yang panjang, dan apabila neraca air defisit dengan periode lebih pendek maka dengan pengaturan pola tanam cukup sebagai solusi.

4 KESIMPULAN

Evaluasi neraca air di DI Payaman dalam penelitian ini menunjukkan terjadinya defisit selama 13 periode. Pada periode bulan Mei II - November II terjadi defisit dengan total sebesar 3,55 m³/s dalam memenuhi kebutuhan air irigasi pola tanam (padi-padi-palawija) dengan luas fungsional 672,11 ha. Oleh sebab itu, dengan adanya penelitian

ini sebagai evaluasi yang dapat memberikan informasi penting bagi pihak instansi sumber daya air khususnya di Kota Yogyakarta. Penelitian ini selanjutnya dapat dikembangkan dengan merumuskan solusi untuk mengatasi defisit, antara lain pengaturan pola tanam atau dengan konservasi air.

REFERENSI

- Allen, R. G. *et al.* (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Crop Evapotranspiration (Guidelines For Computing Crop Water Requirements)*, Rome, Italy.
- Anisarida, A. A. and Hafudiansyah, e. (2022). “Kajian Neraca Air Daerah Irigasi Ciherang Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat.” *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (JTSC)*, 3(1), 60–73.
- Arum, R. (2013). “Analisis Ketersediaan Air Di Sebagian Wilayah Das Oyo Hulu Untuk Kebutuhan Air Daerah Irigasi Payaman, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul.” *Skripsi*, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Bunganaen, W., Karbeka, N. S. and Hangge, E. E. (2020). “Analisis Ketersediaan Air Terhadap Pola Tanam dan Luas Areal Irigasi Daerah Irigasi Siafu.” *Jurnal Teknik Sipil*, IX(1), 15–26.
- Crawford, N. H. (1985). *NRECA (National Rural Electric Cooperative Association)*, Washington DC, USA.
- Dai, A. (2013). “Increasing Drought Under Global Warming In Observations And Models,” in *Nature Climate Change*. New York, 52–58.
- Direktorat Jendral SDA (2013). *Standar Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01*, Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Di Rektorat Irigasi Dan Rawa. Indonesia.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1977). *FAO Irrigation And Drainage Paper (Guidelines For Predicting Crop Water Requirement)*, Rome, Italy.
- Dwiwana, Nurhayati, L. and Umar (2019). “Analisa Ketersediaan dan Kebutuhan Air Irigasi di Daerah Irigasi Terdu.” *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 6(1), 215–223.
- Hidayat, A. M. *et al.* (2019). “Evaluasi Ketersediaan Sumber Daya Air Berbasis Metode Neraca Air Thornthwaite Mather Untuk Pendugaan Surplus Dan Defisit Air Di Pulau Jawa.” *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*.
- Jolly, I. D., McEwan, K. L. and Holland, K. L. (2010). “Ecohydrology Bearing - Invited Commentary Transformation Ecosystem Change And Ecohydrology: Ushering In A New Era For Watershed Management,” *Ecohydrology*, 130(3), 126–130.
- Mather, J. R. (1978). *The Climatic Water Budget In Environmental Analysis*, Farnborough, Hants.
- Mock, D. F. J. (1973). “*Land Capability Appraisal Indonesia (Water Availability Appraisal)*, Land Capability Appraisal project.” Bogor, Indonesia.
- Mudrieq, S. H. (2013). “Problematika Krisis Pangan Dunia Dan Dampaknya Bagi Indonesia.” *Jurnal Academica*, 06(02). 1287–1302.
- Nayoan, G. C. A., Sumarauw, J. S. F. and Hendratta, I. A. (2023). “Analisis Neraca Air Sungai Alopohu Di Titik Bendung Alopohu Kabupaten Gorontalo Gerald.” *Jurnal Tekno*, 21(84).
- Pramono, I. B. (2010). “Perbandingan Hasil Estimasi Potensi Air Bulanan Dan Hasil Pengukuran Langsung Di Sub Das Wuryantoro, Wonogiri.” *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 7(2), 127–137.
- Sidharta S.K. (1997). *Irigasi dan Bangunan Air*, Jakarta: Gunadarma.
- Sosrodarsono, S. and Takeda, K. (2003). *Hidrologi untuk pengairan*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sri Harto (1993). *Analisis Hidrologi*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Sriartha, D. K., Suryatmaja, I. B. and Kurniari, K. (2021). “Analisis Neraca Air Daerah Irigasi Tinjak Menjangan Pada Daerah Aliran Sungai (Das) Tukad Sungai di Kabupaten Tabanan.” *Jurnal Ilmiah Teknis UNMAS*, 1(2), 15–23.
- Thornthwaite, C. W. (1957). “Instructions And Tables For Computing Potential Evapotranspiration And The Water Balance.” *Publications on Climatology*, 10, 185-310.
- Wahyuni, S. (2014). “Perbandingan Metode Mock dan NRECA untuk Pengalihragaman Hujan ke Aliran.” *Jurnal Rekayasa*, 13(2), 602–624.
- Widyaningsih, K. waasiu, Harisuseno, D. and Soetopo, W. (2021). “Perbandingan Metode FJ. Mock dan NRECA untuk Transformasi Hujan Menjadi Debit pada DAS Metro Kabupaten Malang, Jawa Timur.” *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(1), 52–61.